

УДК 533.9.07

Д.К. Гамазін, О.В. Соломенко, В.В. Юхименко, В.Я. Черняк

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601

e-mail: denigam@gmail.com

e-mail: chernyak_v@ukr.net

ПЛАЗМОВО-РІДИННА СИСТЕМА З ВТОРИННИМ РОЗРЯДОМ НА БАЗІ ОБЕРТОВОЇ КОВЗНОЇ ДУГИ

У роботі представлена плазмово-рідинна система на основі обертової ковзної дуги, з вторинним розрядом. Вивчені електричні параметри розряду досліджуваної системи. Представлені результати аналізу емісійних спектрів плазми. Проведені попередні дослідження впливу розряду на дистильовану воду.

Ключові слова: вторинний розряд, плазмово-рідинна система, RGA, очищення води

Вступ

Головною особливістю плазмово-рідинних систем є наявність границі розділу між рідинною та фазою плазми. Ця границя виступає як джерело активних часток, що потрапляючи у рідину, можуть ініціювати хімічні перетворення [1]. Подібні системи можуть використовуватися для вирішення широкого спектру задач: отримання наноматеріалів [2], деструкція різноманітних забруднювачів [3-5] та знезараження води [6]. Однак системи, в яких рідина виступає у ролі одного з електродів самостійного розряду, мають принципове обмеження – зростання енергетичних витрат на процес електролізу. У роботі [3] спостерігається зниження енергетичної ефективності процесу деструкції саме через зростання впливу електролізу. Можливе вирішення цієї проблеми – використання вторинного розряду. Такий підхід, коли джерелом зарядів є самостійний розряд, а на поверхню рідини безпосередньо діє вторинний розряд, продемонстровано у роботах [5] та [6]. Важливо відмітити, що у [5] не спостерігається жодних ознак зниження енергетичної ефективності процесу деструкції. Крім того, плазмово-рідинні системи доволі часто мають серйозний недолік – невеликий ресурс роботи. Вирішити цю проблему можливо,

використовуючи як джерело плазми для вторинного розряду систему з високим ресурсом роботи. Прикладом такої системи є обертова ковзна дуга, дослідження якої представлено в роботах [7-8].

Таким чином, актуальним є створення плазмово-рідинних систем з вторинним розрядом та використанням обертової ковзної дуги як підтримуючого розряду.

Експериментальна установка

Схема установки наведена на рис.1.

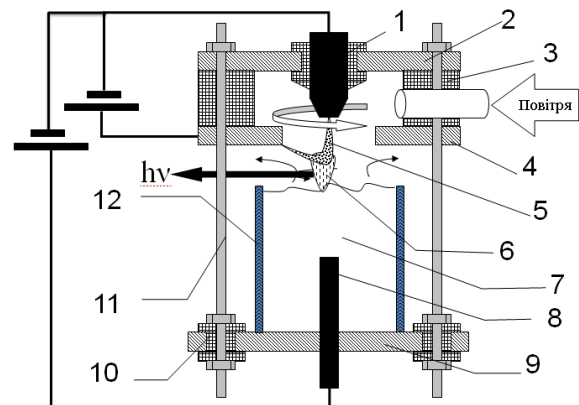


Рис. 1. Плазмово-рідинна система на основі обертової ковзної дуги

Генератор плазми складається з центрального електроду (1), верхнього фланцю (2), діелектричної камери, з отворами для тангенціальної подачі робочого газу (повітря) (3), та нижнього фланцю (4), який виконує роль другого

електроду самостійного розряду. Між електродами (1) та (4) горить обертова ковзна дуга (5). Вторинний розряд (6) горить між дугою (5) та поверхнею рідини (7) (дистильована вода), потенціал на яку подається за допомогою донного електроду (8), що закріплений на фланці (9), який ізолюваний за допомогою діелектричних вставок (10). Конструкція скріплена металевими шпильками (11). Рідина знаходиться у відкритій ємності (12). Вторинний розряд (6) є несамоствійним у тому сенсі, що при припиненні протікання струму у колі обертової ковзної дуги, струм у колі вторинного розряду також зникає.

У даній системі було досліджено електричні параметри розряду, а саме вольт-амперні характеристики та параметри взаємного впливу розрядів у системі. Виміри проведені за допомогою аналогових пристроїв електромагнітної системи. Крім того, за допомогою методів емісійної спектроскопії з використанням спектрометра SOLAR-TII та програмного коду SPECAR [9-10] були вивчені параметри випромінювання плазми досліджуваної системи. Зроблено оцінку температур заселення збуджених коливальних та обертальних рівнів молекулярних компонент плазми.

Вплив розряду досліджуваної системи на рідину, що підлягала обробці, вивчався за допомогою вимірювання рН рідини до та після обробки, та шляхом вивчення спектрів поглинання обробленої рідини.

Результати експерименту

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) самостійного розряду для різних потоків повітря наведено на рис.2. Було досліджено потоки повітря 10, 20 та 30 л/хв.

Спадаючий характер залежності є звичайним для пристроїв з самовстановлюваною довжиною струмового каналу. Різка зростання напруги за низьких струмів та потоку повітря 30 л/хв відповідає режиму нестабільного горіння розряду.

Вольт-амперна характеристика несамоствійного розряду, а також

залежність напруги на основному розряді від струму вторинного розряду наведено на рис.3.

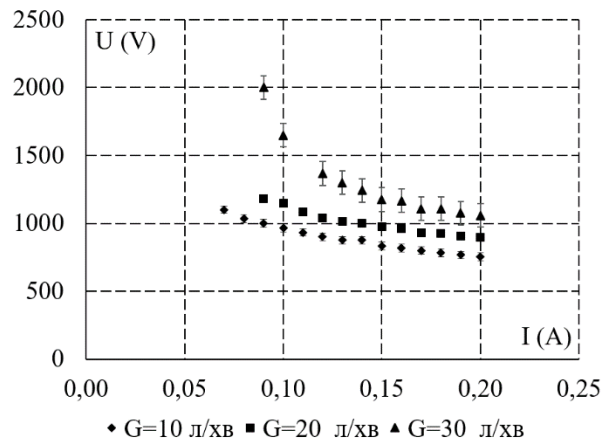


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики самостійного розряду

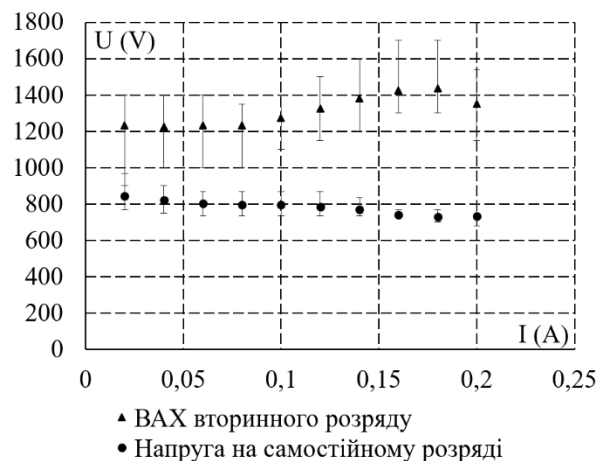


Рис. 3. ВАХ вторинного розряду та вплив вторинного струму на напругу горіння обертової ковзної дуги (струм самостійного розряду – 160 мА, витрата повітря 10 л/хв)

У діапазоні 40 – 100 мА напруга горіння вторинного розряду має слабку позитивну залежність від струму. За значень струму, близьких до струму самостійного розряду, спостерігається максимум напруги вторинного розряду, та зменшення напруги у первинному ланцюзі. Цей режим відповідає переходу вторинного розряду у самостійний.

Емісійні спектри плазми у діапазоні від 230 до 400 нм наведені на рис. 4. Обидва спектри нормовані на довжину хвилі 309 нм, що відповідає високо-інтенсивній

смузі гідроксилу. Струм самостійного розряду – 160 мА, напруга – 960 В, струм вторинного розряду – 80 мА, напруга – 1200 В. Порівнюючи спектри самостійного розряду з отриманими, коли у системі працювали обидва розряди, можна помітити, що у другому випадку інтенсивність смуг монооксиду азоту, відносно смуг гідроксилу, значно менша. Шляхом аналізу спектрів випромінювання було визначено, що плазма у системі є неізотермічною ($T_r^* = 3000 \pm 500$ К, $T_v^* = 4000 \pm 500$ К). Крім того, в обох випадках у спектрах відсутні лінії матеріалу електродів, а саме Fe, Cr та Ni (оскільки електроди виконані з нержавіючої сталі).

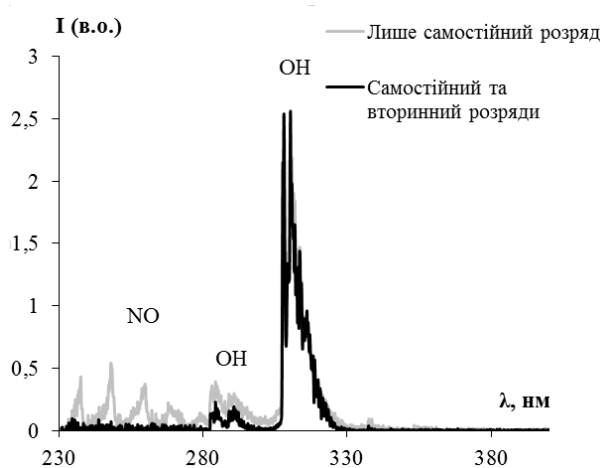


Рис. 4. Спектр випромінювання плазми у спектральному діапазоні 230-400 нм, нормовано на довжину хвилі 309 нм.

Спектри, у діапазоні від 650 до 1050 нм представлені на рис.5. В діапазоні довжин хвиль від 400 до 650 нм не було зафіксовано випромінювання спектральних смуг чи ліній.

Обидва спектри нормовано на довжину хвилі 650 нм. У цьому діапазоні спостерігаються смуги випромінювання молекул води. Вони присутні в обох досліджуваних режимах: коли працює лише самостійний розряд та у режимі з несамостійним розрядом. В останньому випадку смуги води мають значно більшу інтенсивність.

Наявність смуг води та гідроксилу у спектрах випромінювання плазми та відсутність ліній матеріалів електродів свідчить про те, що всі електроди є "рідкими", тобто на поверхні металевих

електродів утворюється прошарок робочої рідини. Цей ефект, у свою чергу, дозволяє зменшити руйнацію електродів.

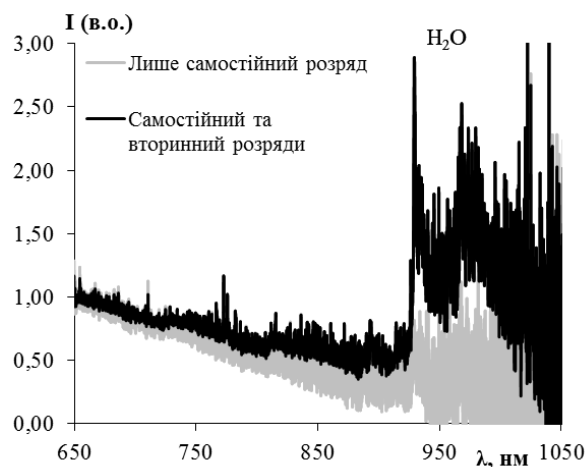


Рис. 5. Спектр випромінювання плазми у спектральному діапазоні 650-1050 нм, нормовано на довжину хвилі 650 нм.

Обробка рідини у подібній системі, за умов роботи у середовищі повітря за атмосферного тиску призводить до зниження показника рН (рис.6).

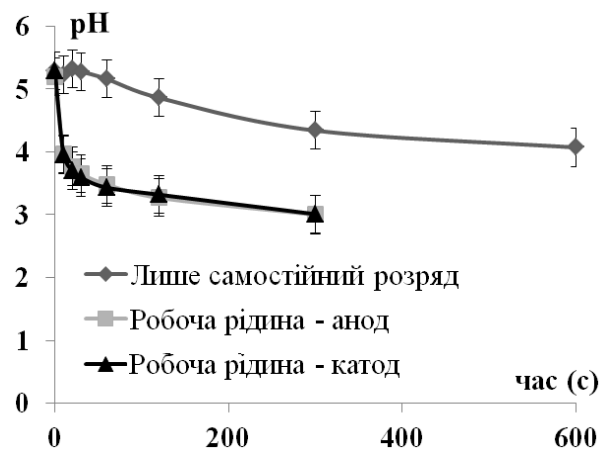


Рис. 6. Показник рН дистильованої води, після обробки в системі, в залежності від часу обробки.

Ефект підкислення більше виражений у випадку, коли у системі присутній вторинний розряд. Крім того, зменшення рН тоді, коли працює тільки самостійний розряд, відбувається не одразу, а із запізненням на 30 с. У випадку зміни полярності рідини відносно самостійного розряду помітних змін у динаміці процесу підкислення не спостерігається.

Ефект підкислення може бути пов'язаний з напрацюванням у робочій рідині азотної та азотистої кислоти, а також перекису водню. Ці припущення підтверджуються вивченням спектрів поглинання обробленої рідини (Рис.7).

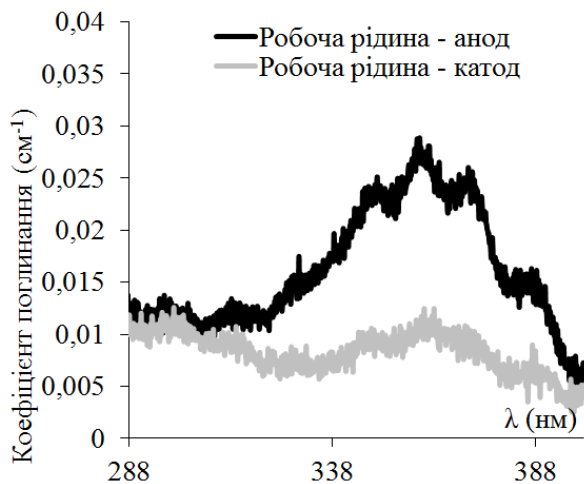


Рис. 7. Спектр поглинання дистильованої води, після обробки у системі, в діапазоні довжин хвиль 288-390 нм.

У спектрах поглинання, в діапазоні довжин хвиль 288-388 нм, чітко виражена смуга поглинання азотистої кислоти. Важливо зазначити, що при зміні полярності робочої рідини з аноду на катод концентрація азотистої кислоти сильно спадає. З огляду на той факт, що зі зміною полярності не спостерігалось зміни ефекту підкислення, можна припустити, що основну роль у цьому ефекті азотиста кислота не відіграє.

У спектральному діапазоні від 200 до 300 нм спостерігається значне поглинання, що свідчить про велику кількість перекису водню. Очевидно, саме напрацювання H_2O_2 робить основний внесок у підкислення робочої рідини, обробленої у досліджуваній системі.

Можливість напрацьовувати в досліджуваній рідині перекису водню та азотистої кислоти дозволяє ефективно використовувати подібну систему для задач знезараження води та деструкції забруднювачів.

Висновки

Представлена у даній роботі плазмово-рідинна система має ряд особливостей. Використання вторинного розряду дозволяє збільшити площу контакту між плазмою та рідиною та підвищити ефективність впливу плазми. Відсутність матеріалу електродів у емісійних спектрах плазми та утворення прошарку робочої рідини на поверхні металевих електродів, дозволяє говорити про підвищення ресурсу безперервної роботи системи.

Можливість напрацьовувати значну кількість перекису водню та азотистої кислоти дозволяє ефективно використовувати подібні системи у задачах із знезараження води та деструкції забруднювачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Максимов А.И. Физико-химические свойства плазменно-растворных систем и возможности их технологических применений // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. – Т. XI-5. – Прикладная химия плазмы. Под ред. Лебедева Ю.А., Платэ Н.А., Фортова В.Е. –М.: Янус-К. – 2006. –С. 263 – 309.
2. Veremii Iu.P., Iukhymenko K.V., Chernyak V.Ya., Kasumov M.M. Continuous process of carbon nanoparticles generation by the plasma-liquid systems "Tornado" type // International conference-school on plasma physics and controlled fusion (ICPPCF-2014). – 15-18 september 2014. – Kharkov, Ukraine. – P. 176.
3. Nishiyama H. et al. Decomposition of Acetic Acid Using Multiple Bubble Jets with Pulsed Electrical Discharge // Plasma Chemistry and Plasma Processing. –March 2015, –V. 35, Iss. 2. –P. 339-354.
4. Chernyak V.Ya., Tarasova Ya.B., Zrazhevskij V.A., Trokhymchuk A.K., Babich I.L., Yukhymenko V.V. Pesticide DDT destruction in plasma-

- liquid systems// Вісник Київського університету. Серія: радіофізика та електроніка. – 2004.– № 7.– С. 46-49.
5. Черняк В.Я., Тарасова Я.Б., Трофимчук А.К., Зражевский В.А., Юхименко В.В. Деструкция растворённых в воде поверхностно-активных веществ и фенола под действием плазмы несамостоятельного разряда // Химия и технология воды.–2002. – Т.24, №6. – С.547-557.
 6. Chernyak V., Trokhymchuk A., Yukhymenko V., Zrazhevskyy V., Babich I., Ulberg Z., Tarasova Ya., Chehovskaya T., Gruzina T., Pashko T. Non-equilibrium plasmachemical sterilization of water in secondary discharge with “liquid” electrode at atmospheric pressure// Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки. – 2003. – №4. – С. 343-346.
 7. Chernolutsky D.L., Kolgan V.V., Chernyak V.Ya., Nedybaliuk O.A., Lushkin O.E., Martysh Eu.V., Iukhymenko V.V., Shapoval V.A., Solomenko Ol.V., Yakimov M.O. Visual observation of rotation gliding discharge // Proc. X Int. Conf. "Electronics and Applied Physics". – 22-25 Oct. 2014. –Kyiv, Ukraine. –P. 236-237.
 8. Chernolutsky D.L., Kolgan V.V., Chernyak V.Ya., Nedybaliuk O.A., Martysh Eu.V., Iukhymenko V.V., Shapoval V.A., Solomenko Ol.V., Yakimov M.O. Study of the gliding rotating discharge at atmospheric pressure // International conference-school on plasma physics and controlled fusion (ICPPCF-2014). – 15-18 september, 2014. – Kharkov, Ukraine. – P. 137.
 9. Laux C.O., Spence T.G., Kruger C.H., Zare R.N. Optical diagnostics of atmospheric pressure air plasmas // Plasma Sources Sci. Technol. – 2003. – V. 12. – PP. 125-138.
 10. Laux C.O., Andreasson J., Risberg J. <http://www.specair-radiation.net> – 2006.

Стаття надійшла до редакції 16.06.2015.

D.K. Hamazin, Ol.V. Solomenko, V.V. Iukhymenko, V.Ya. Chernyak
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Volodymyrska Str., 64/13,
Kyiv, 01601

PLASMA-LIQUID SYSTEM WITH SECONDARY DISCHARGE BASED ON ROTATING GLIDING DISCHARGE

This paper deals with the plasma-fluid system based on a rotating gliding arc with a secondary discharge. The electrical parameters of the electric discharges in the system have been studied. The results of the plasma emission spectra analysis are demonstrated. The results of preliminary study of the discharge influence on the distilled water are presented.

Keywords: secondary discharge plasma-liquid system, rotating gliding discharge, water treatment.

Д.К. Гамазин, Е.В. Соломенко, В.В. Юхименко, В.Я. Черняк
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 64/13,
Киев, 01601

ПЛАЗМО-ЖИДКОСТНАЯ СИСТЕМА С ВТОРИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НА БАЗЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ДУГИ

В работе представлена плазменно-жидкостная система на основе вращающейся скользящей дуги со вторичным разрядом. Изучены электрические параметры разряда исследуемой системы. Представлены результаты анализа эмиссионных спектров плазмы. Проведены предварительные исследования воздействия разряда на дистиллированную воду.

Ключевые слова: вторичный разряд, плазменно-жидкостная система, RGA, очистка воды.